

УДК 550.34

Формирование новых кольцевых структур сейсмичности в районе Южной Камчатки перед сильнейшим землетрясением 29 июля 2025 г. ($M_w=8.8$)

© 2025 г. Ю.Ф. Копничев¹, И.Н. Соколова²

¹ИФЗ РАН, г. Москва, Россия; ²ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, Россия

Поступила в редакцию 15.08.2025 г.

Аннотация. Рассматриваются некоторые характеристики сейсмичности в районе Южной Камчатки. Показано, что здесь к 17 августа 2024 г. сформировались кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км. Как и в других зонах субдукции, структуры характеризуются пороговыми значениями магнитуд (соответственно M_{p1} и M_{p2}), а также длинами больших осей (L_1 и L_2). В то же время к 29 июля 2025 г. вместо старых образовались новые кольцевые структуры, для которых заметно выросла величина M_{p1} и уменьшилась M_{p2} . Ранее были построены корреляционные зависимости параметров M_{p1} и M_{p2} от магнитуд M_w главных землетрясений для запада Тихого океана. Используя эти зависимости, мы оценили магнитуду возможного в районе Южной Камчатки сильнейшего события: $M_w=8.7\pm0.2$. Обсуждаются причины формирования кольцевых структур сейсмичности на разных глубинах в зонах субдукции.

Ключевые слова: литосфера, кольцевые структуры сейсмичности, сильные землетрясения, глубинные флюиды.

Для цитирования: Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Формирование новых кольцевых структур сейсмичности в районе Южной Камчатки перед сильнейшим землетрясением 29 июля 2025 г. ($M_w=8.8$) // Российский сейсмологический журнал. – 2025. – Т. 7, № 4. – С. 37–45. – DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.05>. – EDN: NAQHRY

Введение

В работе [Kopnichev, Sokolova, 2025] показано, что в районе Южной Камчатки к середине 2024 г. сформировались кольцевые структуры сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км. Такие структуры часто проявляются перед сильными и сильнейшими землетрясениями в различных зонах субдукции [Kopnichev, Sokolova, 2009a,б; 2011a,б; 2015; 2018; 2021; 2022; 2023; 2024a,б; 2025; Kopnichev, Sokolova, 2010; 2025]. Чаще всего такие структуры, имеющие в плане форму, близкую к эллипсам, образуются в двух указанных диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км [Kopnichev, Sokolova, 2018; 2023]. Они характеризуются пороговыми значениями магнитуд (соответственно M_{p1} и M_{p2}), а также длинами больших осей (L_1 и L_2). Длительность формирования таких структур в подавляющем большинстве случаев не превышает 50 лет, в среднем она близка к 25–30 годам [Kopnichev, Sokolova, 2011a; 2015; 2018]. Суще-

ственно, что полученные данные о характеристиках кольцевых структур могут быть использованы для определения мест и оценки магнитуд готовящихся сильных землетрясений. Примеры успешного прогноза мест и магнитуд Симеоновского землетрясения 22 июля 2020 г. ($M_w=7.8$), а также Чигникского землетрясения 29 июля 2021 г. ($M_w=8.2$) по параметрам кольцевых структур в районе Юго-Западной Аляски приведены в работах [Kopnichev, Sokolova, 2021; 2022]. Отметим, что во многих случаях наблюдается резкий рост энергии событий, формирующих кольцевые структуры, в интервалах времени 8–16 лет перед сильными и сильнейшими землетрясениями, с которыми они связаны [Kopnichev, Sokolova, 2025]. Это позволяет предполагать возможность использования временных вариаций магнитуд таких событий в целях среднесрочного прогноза. В настоящей статье с этой целью анализируются вариации характеристик кольцевых структур в районе Южной Камчатки, начиная с 20 июля 2025 года.

Краткая характеристика сейсмичности района исследований

В районе между 50 и 55°N, начиная с 1900 г., произошло четыре сильнейших неглубоких землетрясения с $M_w \geq 8.0$ (табл. 1 [Engdahl, Villasenor, 2002; Search ..., 2025]). Камчатское землетрясение 4 ноября 1952 г. ($M_w=9.0$) было третьим по силе сейсмическим событием XX века. Очаг этого землетрясения имел размеры около 600 км, он породил цунами, распространившееся по всему Тихому океану. После 1959 г. в районе Южной Камчатки зарегистрировано только одно сильнейшее событие с $M_w > 8.0$ ($M_w=8.8$, 29 июля 2025 г.), в то время как в районах Южных и Центральных Курил в 1963–2007 гг. произошло пять землетрясений с $M_w > 8.0$. Отметим, что длина очага сильнейшего землетрясения 29 июля 2025 г. также составляла около 600 км (рис. 1). Существенно, что перед этим событием зарегистрированы два достаточно сильных форшока (17 августа 2024 г., $M_w=7.0$ и 20 июля 2025 г., $M_w=7.4$).

Таблица 1. Сильнейшие землетрясения в районе Южной Камчатки (в области 50–55°N с начала XX в.)

Дата, дд.мм.гггг	φ , °N	λ , °E	h , км	M_w
03.02.1923	53.85	160.76	35	8.5
04.11.1952	52.75	159.50	—	9.0
04.05.1959	53.37	159.66	35	8.0
29.07.2025	52.50	160.24	35	8.8

Использованные данные и методика исследований

В работе использовались каталоги Геологической службы США (за период 01.01.1973 г. — 08.08.2025 г.) [Search ..., 2025]. Рассматривались детально характеристики сейсмичности в районе Южной Камчатки, ограниченном координатами 52.0–54.0°N и 159.0–162.0°E.

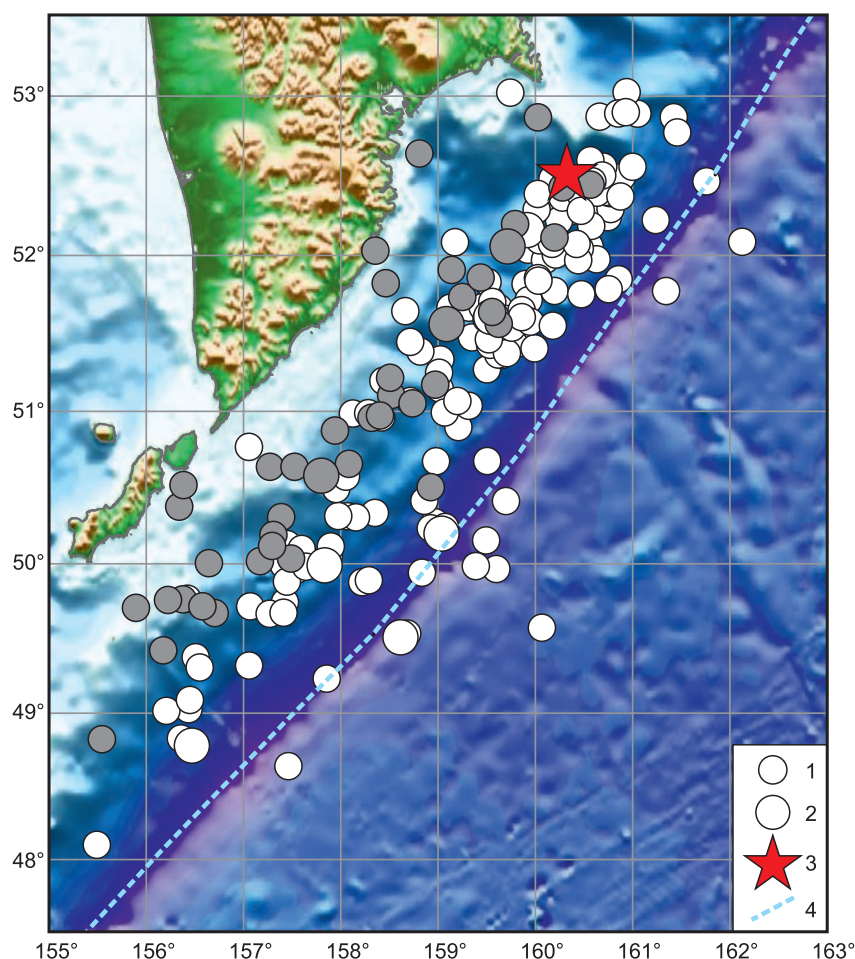


Рис. 1. Афтершоки Камчатского землетрясения 29 июля 2025 г. ($M \geq 5.0$, за 10 дней).

Магнитуды: 1 — 5.0–5.9, 2 — 6.0–6.9; 3 — эпицентр Камчатского землетрясения ($M_w=8.8$); 4 — глубоководный жёлоб. Глубины афтершоков: незалитые значки — 0–33 км, залитые — ≥ 34 км

Методика выделения кольцевых структур подробно описана в работах [Копничев, Соколова, 2015; 2018]. Здесь только заметим, что обычно изучаются характеристики сейсмичности в двух диапазонах глубин: 0–33 и 34–70 км. В каждом диапазоне находятся наибольшие пороговые значения магнитуд (соответственно $M_{п1}$ и $M_{п2}$), для которых выделяются кольцевые структуры. Помимо пороговых значений магнитуд, структуры характеризуются также длинами больших осей (соответственно $L1$ и $L2$). Кроме того, в некоторых случаях (в первую очередь для достаточно высоких значений $M_{п1}$ и $M_{п2}$) рассматриваются характеристики сейсмичности на глубинах 71–110 км [Копничев, Соколова, 2023]. В этом диапазоне глубин кольцевые структуры характеризуются соответственно параметрами $M_{п3}$ и $L3$.

Анализ данных

Рассмотрим некоторые характеристики сейсмичности в районе к востоку и северо-востоку от г. Петропавловска-Камчатского (между 52.0 и 54.0°N), начиная с 1 января 1973 года. Разобьём эти данные на две группы – до сильного землетрясения 20 июля 2025 г. ($M_w=7.4$) и, начиная с этой даты, до 28 июля 2025 г. включительно. На рис. 2а показаны элементы сейсмичности в диапазоне глубин 0–33 км, проявившиеся в первой группе. Видно, что здесь образовалась крупная кольцевая структура ($M_{п1}=5.3$, $L\sim 140$ км [Копничев, Соколова, 2025], ориентированная в направлении на северо–северо-восток. Структура сформировалась в 1973–2024 гг., наибольшая магнитуда ($M_w=7.0$) соответствует землетрясению 17 августа 2024 года.

Из рис. 2б следует, что наблюдается значительное падение магнитуд сейсмических событий в 1973–2010 гг. и резкий рост магнитуд в 2016–2024 гг.

В работе [Копничев, Соколова, 2025] показано, что к середине 2024 г. сформировалась также кольцевая структура в диапазоне глубин 34–70 км (с пороговым значением $M_{п2}=5.2$ и длиной большой оси $L2\sim 45$ км). При этом мелкая и глубокая кольцевые структуры почти касаются друг друга на широтах около 53.3°N.

На рис. 3а представлены данные, полученные для двух групп неглубоких событий со значительно большим пороговым значением магнитуды ($M_{п1}=5.6$). Из рисунка следует, что в данном случае уже не проявилась кольцевая структура, представленная на рис. 2а. Следует заметить, что структура не проявилась, во-первых, из-за того, что были удалены эпицентры землетря-

сений с $M=5.3$ –5.5, и, во-вторых, она была частично обрезана полосой эпицентров событий, произошедших с 20 июля 2025 г. до 28 июля 2025 года. Вместе с тем чётко обозначилась новая структура меньшего размера, вытянутая в субмеридиональном направлении ($L1\sim 60$ км). Из рис. 3б видно, что имеет место резкое увеличение суммарной сейсмической энергии в области кольцевой структуры в 2013–2025 гг. Выбор указанного интервала времени связан с тем, что, как отмечено выше, наблюдается существенный рост магнитуд событий, формирующих неглубокие кольца сейсмичности, в отрезках от 8 до 16 лет перед сильными землетрясениями [Копничев, Соколова, 2025].

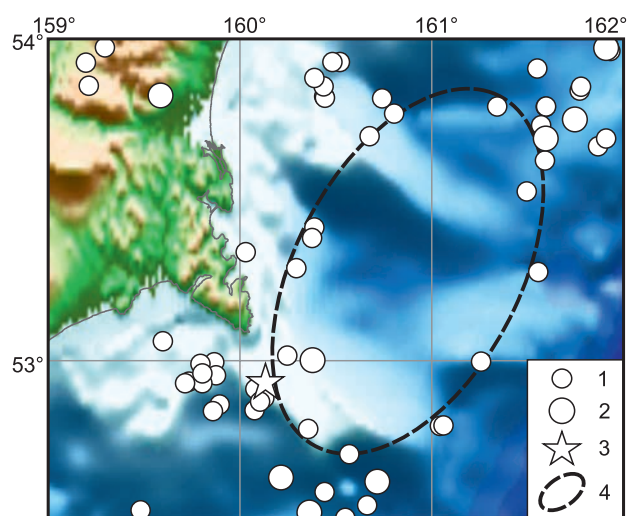


Рис. 2а. Элементы сейсмичности на глубинах 0–33 км (до 19 июля 2025 г.).

Магнитуды: 1 – 5.3–5.9, 2 – 6.0–6.9, 3 – 7.0, 4 – неглубокая кольцевая структура

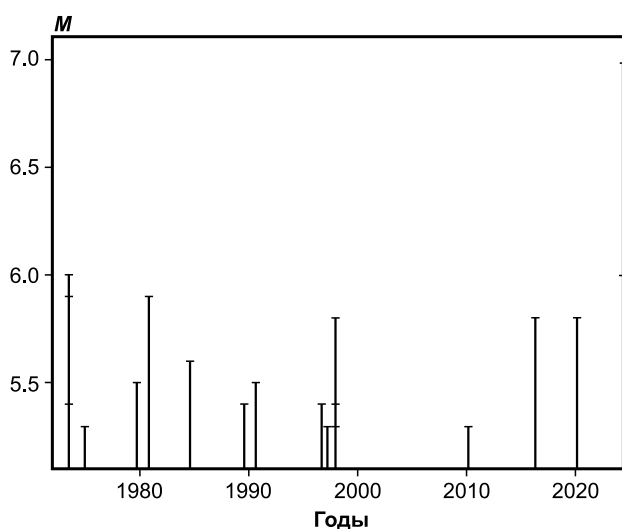


Рис. 2б. Зависимость магнитуд от времени для событий, образующих эллипс сейсмичности на рис. 2а

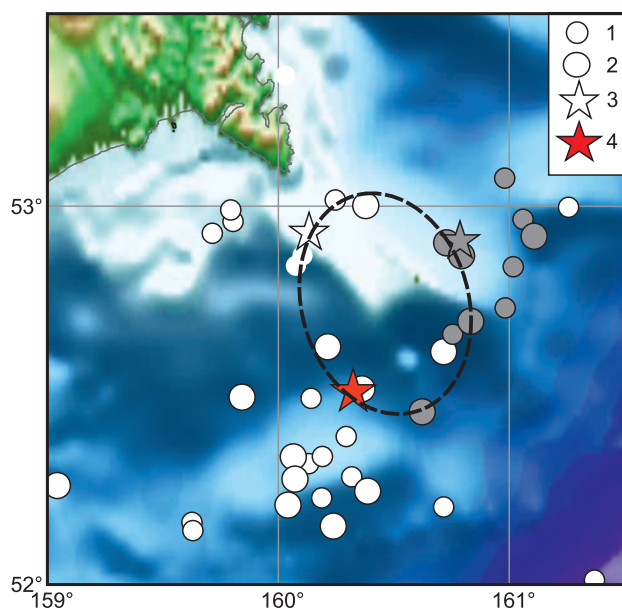


Рис. 3а. Элементы сейсмичности на глубинах 0–33 км (до 28 июля 2025 г.).

Магнитуды: 1 – 5.6–5.9, 2 – 6.0–6.9, 3 – 7.0–7.4; 4 – эпицентр землетрясения 29 июля 2025 г. ($M_w=8.8$). Значки залитые – события, начиная с 20 июля 2025 г.

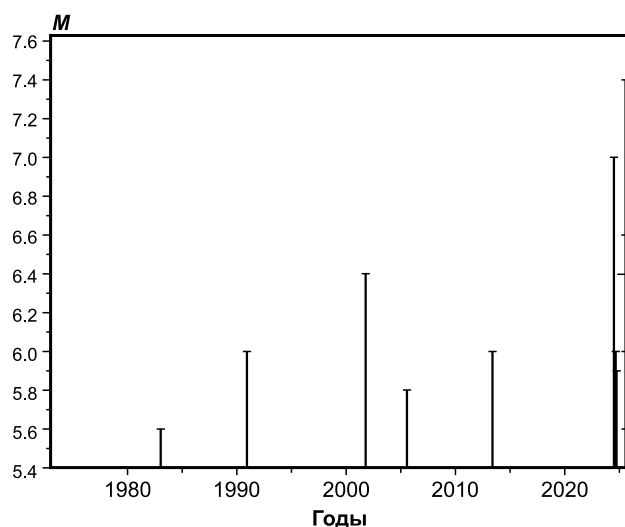


Рис. 3б. Зависимость магнитуд от времени для событий, образующих эллипс сейсмичности на рис. 3а

На рис. 4 представлены данные об элементах сейсмичности в диапазоне глубин 34–70 км (в обеих группах событий). В данном случае в 1980–2025 гг. образовалась малая кольцевая структура ($M_{п2}=5.0$, $L_2 \sim 35$ км), вытянутая в северо–северо-восточном направлении. Наибольшая магнитуда ($M=6.5$) соответствует землетрясению 8 октября 2001 года. На севере кольцо

сейсмичности пересекается с кольцом, сформировавшимся в диапазоне глубин 0–33 км. Важно отметить, что эпицентр сильнейшего Камчатского землетрясения 29 июля 2025 г. находится поблизости от восточной области пересечения мелкого и глубокого колец.

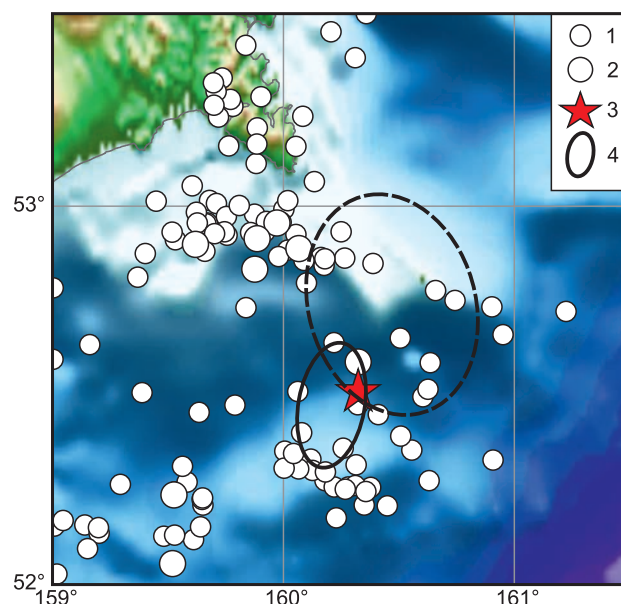


Рис. 4. Элементы сейсмичности на глубинах 34–70 км (до 19 июля 2025 г.).

Магнитуды: 1 – 5.0–5.9, 2 – 6.0–6.9, 3 – 8.8; 4 – глубокая кольцевая структура

На рис. 5 показаны элементы сейсмичности в рассматриваемом районе, проявившиеся в диапазоне глубин 71–110 км (в обеих группах событий). В данном случае образовалась кольцевая структура с $M_{п3}=4.1$ и $L_3 \sim 45$ км, вытянутая в субширотном направлении.

Оценки магнитуды, положения эпицентра и глубины возможного сильнейшего землетрясения по параметрам кольцевых структур. Для оценки магнитуды мы использовали корреляционные зависимости пороговых значений магнитуд от энергии главных событий, полученные в работе [Копничев, Соколова, 2018] для зон субдукции на западе Тихого океана:

$$M_{п1} = -1.88 + 0.85 M_w, r = 0.89, \quad (1)$$

$$M_{п2} = -0.95 + 0.70 M_w, r = 0.94, \quad (2)$$

где r – коэффициент корреляции.

В работе [Kopnichen, Sokolova, 2025] из выражений (1) и (2), подставляя указанные выше значения $M_{п1}=5.3$ и $M_{п2}=5.2$, мы нашли прогнозную величину магнитуды возможного сильнейшего

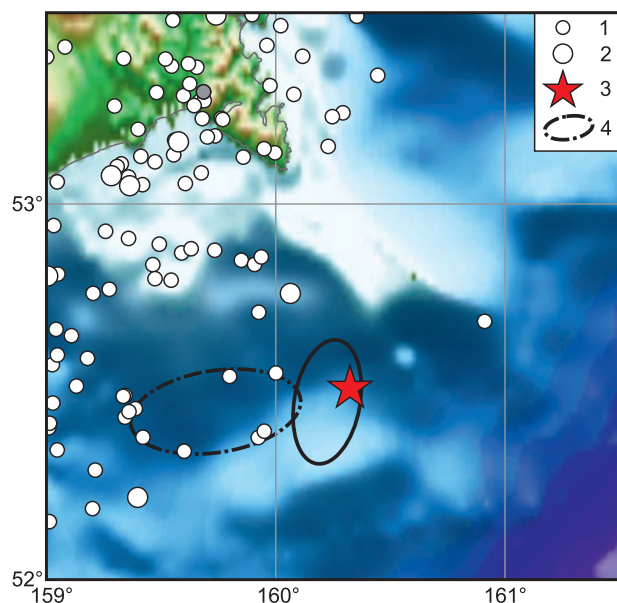


Рис. 5. Элементы сейсмичности на глубинах 71–110 км.

Магнитуды: 1 – 4.1–4.9, 2 – 5.0–5.9, 3 – 8.8;
4 – кольцевая структура на глубинах 71–110 км

землетрясения – $M_w=8.7\pm0.2$. Конечно, полученную оценку следовало рассматривать лишь в качестве первого приближения. В то же время, используя выражения (1) и (2), а также значения параметров $M_{п1}=5.6$ и $M_{п2}=5.0$, мы получили новую оценку магнитуды сильнейшего события: $M_w=8.7\pm0.2$. Интересно, что, несмотря на заметные изменения параметров $M_{п1}$ и $M_{п2}$, прогнозные оценки средних значений M_w и стандартных отклонений остались неизменными.

Из публикаций [Копничев, Соколова, 2009а; 2009б; 2011а; 2015; 2022] следует, что во многих случаях эпицентры прогнозируемых сильных землетрясений находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения колец сейсмичности, формируемых на глубинах 0–33 и 34–70 км. Отсюда следует, что можно было ожидать положение эпицентра землетрясения с $M_w\sim8.7$ на долготах вблизи от 160.3°E.

В работе [Копничев, Соколова, 2023] показано, что пороговые значения магнитуд для колец сейсмичности существенно различаются в зависимости от глубин гипоцентров сильных землетрясений, перед которыми они формируются (при прочих равных условиях). В табл. 2 указаны области вариаций величин разностей $M_{п1}-M_{п3}$ и $M_{п2}-M_{п3}$, соответствующих кольцевым структурам в разных районах на западе Тихого океана. Эти данные получены для восьми неглубоких сильных и сильнейших событий ($h=10-40$ км, $M_w=7.7-9.0$) и 11 относительно глубоких ($M_w=7.0-7.9$, $h=42-110$ км). Видно, что указанные величины для колец сейсмичности в районе между 52 и 54°N заведомо попадают в область, соответствующую неглубоким сильным землетрясениям.

Обсуждение

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Камчатки, так же как и во многих других зонах субдукции, формируются кольцевые структуры сейсмичности в трёх диапазонах глубин. Эпицентры большинства неглубоких сильных землетрясений находятся вблизи областей пересечения или наибольшего сближения кольцевых структур на глубинах 0–33 и 34–70 км. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что мелкие кольца оконтуривают жёсткие блоки литосферы, а глубокие – относительно маловязкие блоки [Копничев, Соколова, 2011б; Копничев, Соколова, 2010]. На границах обоих типов блоков происходит подъём глубинных флюидов, о чём свидетельствует достаточно высокая сейсмичность по отношению к внутренним частям блоков. Как показано в работах [Husen, Kissling, 2001; Копничев, Соколова, 2003; Копничев, Соколова, 2005; 2018; 2023; Yamazaki, Seno, 2003; Ogawa, Heki, 2007; Копничев et al., 2009], подъём флюидов в литосфере сейсмоактивных районов происходит в первую очередь в результате землетрясений. Следует отметить, что, с одной стороны,

Таблица 2. Прогнозные величины $M_{п1}-M_{п3}$ и $M_{п2}-M_{п3}$ для рассматриваемой области в районе Камчатки относительно разброса данных для запада Тихого океана

Параметр	Запад Тихого океана		Камчатка (прогноз)
	неглубокие события	глубокие события	
$M_{п1}-M_{п3}$	0.3÷1.5	(–0.3)÷0.5	1.5
$M_{п2}-M_{п3}$	0.3÷1.0	(–0.2)÷0.4	0.9

присутствие флюидов облегчает подготовку землетрясений, а с другой — сейсмические события приводят к резкому (на порядки!) ускорению подъёма флюидов. Кроме того, на сравнительно больших глубинах землетрясения генерируются в результате процессов дегидратации, при которых происходит охрупчивание мантийного материала и выделяется свободная вода [Yamazaki, Seno, 2003].

Важно подчеркнуть, что в областях пересечения или наибольшего сближения мелких и глубоких колец сейсмичности достигается наибольшая мощность двухфазного слоя с присутствием заметной доли флюидов (имеется в виду преобладание твёрдой фазы с включениями жидкой фазы — флюидов) [Yamazaki, Seno, 2003]. В случае, если флюиды формируют связную сеть, состоящую из пор и трещин, на кровле такого слоя наблюдается концентрация напряжений, причём уровень избыточных напряжений пропорционален мощности слоя [Каракин, Лобковский, 1982; Gold, Soter, 1984]. Концентрация напряжений и может приводить к подвижке при сильном землетрясении. В рассматриваемом районе все три кольцевые структуры сближаются в небольшой области, что может свидетельствовать об ещё большей мощности двухфазного слоя по сравнению со случаем возможного пересечения двух колец сейсмичности на глубинах до 70 км. Следует заметить, что формирование кольцевых структур служит отражением процессов самоорганизации геологических систем, в конечном счёте приводящих к уменьшению потенциальной энергии Земли [Летников, 1992].

Полученные ранее данные свидетельствуют о том, что во многих случаях наблюдается резкий рост уровня сейсмичности в областях кольцевых структур в интервалах времени от 8 до 16 лет перед сильными землетрясениями [Копничев, Соколова, 2009б; 2011а; 2022; 2025; Koprnichev et al., 2009]. Учитывая, что начало скачкообразного подъёма выделения сейсмической энергии в структуре, приведённой на рис. 3а, приходится на 2013 г., можно было предполагать, что наиболее вероятное время реализации сильнейшего землетрясения в районе между 52.0 и 53.5°N, основанное на анализе параметров колец сейсмичности, соответствовало интервалу 2021–2029 гг. Существенно, что дата сильнейшего землетрясения 29 июля 2025 г. вполне укладывается в этот интервал.

Новые данные позволяют сделать вывод, что к востоку и северо-востоку от Петропавловска-Камчатского готовилось достаточно сильное сейсмическое событие с $M_w \geq 8.5$, гипоцентр

которого должен был находиться на сравнительно небольших глубинах (до 40 км). По аналогии с данными для многих землетрясений в зонах субдукции можно было ожидать, что эпицентр такого события будет располагаться вблизи одной из областей пересечения кольцевых структур на глубинах 0–33 и 34–70 км.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (в рамках государственного задания ИФЗ РАН по теме FMWU-2022-0003 и государственного задания ФИЦ ЕГС РАН № 075-00682-24).

Литература

- Каракин А.В., Лобковский Л.И. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы // Доклады Академии наук СССР. — 1982. — Т. 268, № 2. — С. 324–329.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Подъем мантийных флюидов в районах очагов сильных землетрясений и крупных разломных зон: геохимические свидетельства // Вестник НЯЦ РК. — 2005. — Вып. 2. — С. 147–155.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевая сейсмичность в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в зонах субдукции // Доклады Академии наук. — 2009а. — Т. 425, № 4. — С. 539–542. — EDN: JXOZMV
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры // Доклады Академии наук. — 2009б. — Т. 429, № 1. — С. 106–109. — EDN: KYGMRP
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. ($M_w=9.0$) в районе Северо-Восточной Японии // Доклады Академии наук. — 2011а. — Т. 440, № 2. — С. 246–249. — EDN: OFAFKZ
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010 г., $M_w=8.8$) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом региона // Геофизические исследования. — 2011б. — Т. 12, № 3. — С. 22–32. — EDN: OGYNPR
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. ($M_w=8.2$) // Вестник НЯЦ РК. — 2015. — Вып. 4. — С. 153–159.
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся перед сильными и сильнейшими землетрясениями на западе и востоке Тихого океана // Геофизические процессы и биосфера. — 2018. — Т. 17, № 1. — С. 109–124. — DOI: 10.21455/GPB2018.1-5. — EDN: YTPDTI

- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности, сформировавшиеся в районе Аляски: оправдавшийся прогноз места и магнитуды Симеоновского землетрясения 22 июля 2020 г. ($M_w=7.8$) // Российский сейсмологический журнал. — 2021. — Т. 3, № 3. — С. 50–60. — DOI: 10.35540/2686-7907.2021.3.03. — EDN: QUJNGX
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Юго-Западной Аляски: оправдавшийся прогноз места и магнитуды Чигникского землетрясения 29.07.2021 г. ($M_w=8.2$) // Геофизические процессы и биосфера. — 2022. — Т. 21, № 1. — С. 80–91. — DOI: 10.21455/GPB2022.1-5. — EDN: QKFLYW
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Характеристики кольцевой сейсмичности на глубинах до 110 км перед сильными и сильнейшими землетрясениями в тихоокеанских зонах субдукции // Российский сейсмологический журнал. — 2023. — Т. 5, № 4. — С. 41–51. — DOI: 10.35540/2686-7907.2023.4.03. — EDN: HDHWNE
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районе Камчатки: возможная подготовка сильного землетрясения // Российский сейсмологический журнал. — 2024а. — Т. 6, № 2. — С. 42–51. — DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.03. — EDN: NVOLSI
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S -волн в районах Курил и Камчатки, и их связь с сильными и сильнейшими землетрясениями // Вулканология и сейсмология. — 2024б. — № 1. — С. 22–35. — DOI: 10.31857/S0203030624010034. — EDN: PZFFVIN
- Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Некоторые характеристики кольцевых структур сейсмичности, формирующихся перед сильными и сильнейшими землетрясениями // Российский сейсмологический журнал. — 2025. — Т. 7, № 2. — С. 41–48. — DOI: 10.35540/2686-7907.2025.2.03. — EDN: KGDQDE
- Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. — Новосибирск: Наука, 1992. — 230 с.
- Engdahl E., Villasenor A. Global seismicity: 1900–1999 // Earthquake & engineering seismology. Part A. — Academic Press. An imprint of Elsevier Science, 2002. — P. 665–690.
- Gold T., Soter S. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes // Pure and Applied Geophysics. — 1984. — V. 122, Iss. 2–4. — P. 492–530. — DOI: 10.1007/BF00874614
- Husen S., Kissling E. Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile // Geology. — 2001. — V. 29, N 9. — P. 847–850. — DOI: 10.1130/0091-7613(2001)029<0847:PFFATL>2.0.CO;2
- Kopnichen Yu.F., Gordienko D.D., Sokolova I.N. Space-time variations of the shear wave attenuation field in the upper mantle of seismic and low seismicity areas // Journal of Volcanology and Seismology. — 2009. — V. 3, N 1. — P. 44–58. — DOI: 10.1134/S0742046309010059. — EDN: LLQHEP
- Kopnichen Yu.F., Sokolova I.N. Spatiotemporal variations of the S wave attenuation field in the source zones of large earthquakes in the Tien Shan // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2003. — V. 39, N 7. — P. 568–579. — EDN: LHVEXD
- Kopnichen Y.F., Sokolova I.N. On the correlation between seismicity characteristics and S-wave attenuation in the ring structures that appear before large earthquakes // Journal of Volcanology and Seismology. — 2010. — V. 4, N 6. — P. 396–411. — DOI: 10.1134/S0742046310060047. — EDN: OHMPQF
- Kopnichen Yu.F., Sokolova I.N. Ring-shaped seismicity structures in South Kamchatka: probable preparation of a great earthquake // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. — 2025. — V. 61, N 2. — P. 207–212. — DOI: 10.1134/S1069351325700193
- Ogawa R., Heki K. Slow postseismic recovery of geoid depression formed by the 2004 Sumatra-Andaman earthquake by mantle water diffusion // Geophysical Research Letters. — 2007. — V. 34. — L06313. — DOI: 10.1029/2007GL029340
- Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. — URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search> (дата обращения 09.08.2025).
- Yamazaki T., Seno T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab // Journal of Geophysical Research. — 2003. — V. 108, N B4. — 2212. — DOI: 10.1029/2002JB001918

Сведения об авторах

Копничев Юрий Федорович, д-р физ.-мат. наук, профессор, гл. науч. сотр. Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), г. Москва, Россия. E-mail: yufk777@mail.ru

Соколова Инна Николаевна, д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр. Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН), г. Обнинск, Россия. E-mail: SokolovaIN@gsras.ru

Formation of new ring-shaped seismicity structures in the region of South Kamchatka prior to great earthquake of July 29, 2025 ($M_w=8.8$)

© 2025 Yu.F. Kopnichev¹, I.N. Sokolova²

¹IPE RAS, Moscow, Russia; ²GS RAS, Ozninsk, Russia

Received August 15, 2025

Abstract We have been studying some seismicity characteristics in the region of South Kamchatka. It was shown that ring-shaped seismicity structures were formed in the South Kamchatka within three depth intervals: 0–33, 34–70 and 71–110 km. Similarly to the other subduction zones, the structures are characterized by threshold magnitude values (M_{t1} , M_{t2} and M_{t3} correspondingly) and also by big axis lengths (L_1 , L_2 and L_3). Epicenters of the large earthquake of August 17, 2024 and its biggest aftershocks lie on the shallow ring-shaped seismicity structure ($M_{t1}=5.3$). This effect confirms an assumption on a preparation of great earthquake in the region of the South Kamchatka. Earlier correlation dependences of M_{t1} and M_{t2} parameters on M_w values of major earthquakes for the west of Pacific were created. Using these dependences, we estimated magnitude of possible great earthquake in this area: $M_w=8.7\pm0.2$. The reasons for ring-shaped structures formation in different depth ranges of the subduction zones are discussed.

Keywords Lithosphere, ring-shaped seismicity structures, large earthquakes, deep-seated fluids.

For citation Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2025). [Formation of new ring-shaped seismicity structures in the region of South Kamchatka prior to great earthquake of July 29, 2025 ($M_w=8.8$)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 7(4), 37–45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.4.05>. EDN: NAQHRY

References

- Engdahl, E., & Villaseñor, A. (2002). Global seismicity: 1900–1999. In *Earthquake & engineering seismology. Part A* (pp. 665–690). Academic Press. An imprint of Elsevier Science.
- Gold, T., & Soter, S. (1984). Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, 122(2–4), 492–530. DOI: [10.1007/BF00874614](https://doi.org/10.1007/BF00874614)
- Husen, S., & Kissling, E. (2001). Postseismic fluid flow after the large subduction earthquake of Antofagasta, Chile. *Geology*, 29(9), 847–850. DOI: [10.1130/0091-7613\(2001\)029<0847:PFFATL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0847:PFFATL>2.0.CO;2)
- Karakin, A.V., & Lobkovsky, L.I. (1982). [Hydrodynamics and structure of the two-phase asthenosphere]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 268(2), 324–329. (In Russ.).
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2003). Spatio-temporal variations of the S wave attenuation field in the source zones of large earthquakes in the Tien Shan. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 39(7), 568–579. EDN: LHVEXD
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2005). [Rise of mantle fluids in areas of strong earthquake foci and large fault zones: geochemical evidence]. *Vestnik NIaTs RK* [Bulletin of the NNC RK], (2), 147–155. (In Russ.).
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2009a). [Ring seismicity at different depth ranges before strong and super earthquakes in subduction zones]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 425(4), 539–542. (In Russ.). EDN: JXOZMV
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2009b). [Characteristics of ring seismicity in different depth ranges before strong and super earthquakes in the Sumatra region]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 429(1), 106–109. (In Russ.). EDN: KYGMRP
- Kopnichev, Y.F., & Sokolova, I.N. (2010). On the correlation between seismicity characteristics and S-wave attenuation in the ring structures that appear before large earthquakes. *Journal of Volcanology and Seismology*, 4(6), 396–411. DOI: [10.1134/S0742046310060047](https://doi.org/10.1134/S0742046310060047). EDN: OHMPQF
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2011a). [Ring-shaped seismicity structures and the earthquake of 11.03.2011 ($M_w=9.0$) in the region of North-East Japan]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences], 440(2), 246–249. (In Russ.). EDN: OFAFKZ
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2011b). [Heterogeneity of the short-period S wave attenuation in the source zone of the Maule earthquake in Chile (27.02.2010, $M_w=8.8$) and its relation to seismicity and

- volcanism of the region]. *Geofizicheskie issledovaniia* [Geophysical Research], 12(3), 22-32. (In Russ.). EDN: OGYNPR
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2015). [Ring-shaped seismicity structures in the region of Northern Chile and successful forecast of the location and magnitude of the Iquique earthquake of 01.04.2014 (Mw=8.2)]. *Vestnik NIaTs RK* [Bulletin of the NNC RK], (4), 153-159. (In Russ.).
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2018). [Ring-shaped seismicity structures, being formed prior to large and great earthquakes in the west and east of the Pacific Ocean]. *Geofizicheskie protsessy i biosfera* [Geophysical processes and the biosphere], 17(1), 109-124. (In Russ.). DOI: 10.21455/GPB2018.1-5. EDN: YTPDTI
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2021). [Ring-shaped seismicity structures, being formed in the Alaska region: Justified prediction of the place and magnitude of the Simeonof earthquake of July 22, 2020 (Mw 7.8)]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 3(3), 50-60. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2021.3.03. EDN: QUJNGX
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2022). [Ring-shaped seismicity structures in the region of southwestern Alaska: Justified forecast of the place and magnitude of the Chignik earthquake of 29.07.2021 (Mw=8.2)]. *Geofizicheskie protsessy i biosfera* [Geophysical processes and the biosphere], 21(1), 80-91. (In Russ.). DOI: 10.21455/GPB2022.1-5. EDN: QKFLYW
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2023). [Characteristics of ring-shaped seismicity at depths up to 110 km prior to large and great earthquakes in subduction zones of the Pacific]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 5(4), 41-51. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2023.4.03. EDN: HDHWNE
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2024a). [Ring-shaped seismicity structures in the region of Kamchatka: Possible preparation for great earthquake]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 6(2), 42-51. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2024.2.03. EDN: NVOLSJ
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2024b). [Heterogeneities of short-period S-waves attenuation field in the Kuril-Kamchatka region and their relation to large and great earthquakes]. *Vulkanologiya i seismologiya* [Volcanology and Seismology], (1), 22-35. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0203030624010034. EDN: PZFFIN
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2025). Ring-shaped seismicity structures in South Kamchatka: probable preparation of a great earthquake. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 61(2), 207-212. DOI: 10.1134/S1069351325700193
- Kopnichev, Yu.F., & Sokolova, I.N. (2025). [Some characteristics of ring-shaped seismicity structures forming prior to large and great earthquakes]. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 7(2), 41-48. (In Russ.). DOI: 10.35540/2686-7907.2025.2.03. EDN: KGDQDE
- Kopnichev, Yu.F., Gordienko, D.D., & Sokolova, I.N. (2009). Space-time variations of the shear wave attenuation field in the upper mantle of seismic and low seismicity areas. *Journal of Volcanology and Seismology*, 3(1), 44-58. DOI: 10.1134/S0742046309010059. EDN: LLQHEP
- Letnikov, F.A. (1992). *Sinergetika geologicheskikh sistem* [Synergetics of geological systems]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 230 p. (In Russ.).
- Ogawa R., & Heki K. (2007). Slow postseismic recovery of geoid depression formed by the 2004 Sumatra-Andaman earthquake by mantle water diffusion. *Geophysical Research Letters*, 34, L06313. DOI: 10.1029/2007GL029340
- USGS. (2025). *Search Earthquake Catalog*. Retrieved from <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
- Yamazaki, T., & Seno, T. (2003). Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab. *Journal of Geophysical Research*, 108(B4), 2212. DOI: 10.1029/2002JB001918

Information about authors

Kopnichev Yuri Fedorovich, Dr., Professor, Chief Researcher of the Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences (IPE RAS), Moscow, Russia. E-mail: yufk777@mail.ru

Sokolova Inna Nikolayevna, Dr., Chief Researcher of the Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (GS RAS), Obninsk, Russia. E-mail: SokolovaIN@gsras.ru